

PERANCANGAN KOLEKTOR SURYA PEMANAS AIR UNTUK KEBUTUHAN RUMAH TANGGA DENGAN KAPASITAS 600 L/JAM

Muslih Nasution

*Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Islam Sumatera Utara
muslih.nasution@ft.uisu.ac.id*

Abstrak

Matahari pada posisinya sedangkan bumi berputar pada sumbunya sambil bergerak mengelilingi matahari dalam suatu orbit yang berbentuk elips yakni hampir berupa lingkaran. Radiasi surya merupakan suatu bentuk radiasi termal yang mempunyai distribusi panjang gelombang yang khusus, karena radiasinya terkonsentrasi pada panjang gelombang pendek (berlawanan dengan yang lebih panjang untuk kebanyakan radiasi termal di bumi). Kolektor disebut juga sebagai pengumpul panas atau kalor. Secara umum kolektor surya adalah suatu peran khusus alat penukar kalor yang berfungsi untuk menyerap surya dan mentransfer masukan radiasi tersebut menjadi energi termal yang berguna melalui suatu medium fluida kerja. Kolektor yang akan direncanakan adalah kolektor surya pemanas air

Kata-kata Kunci : Pemanas Air, Kolektor, Irradiasi, Surya,

I. Pendahuluan

Sesuai dengan letak geografi di daerah khatulistiwa, maka Indonesia sangat berpotensi bagi pemanfaatan energi surya secara langsung maupun tidak langsung, dimana energi surya ini adalah sumber energi berjumlah besar dan bersifat kontinu yang tersedia di bumi ini. Sumber energi surya ini relatif selalu tersedia dan tidak akan pernah habis, di samping itu energi surya ini tidak menimbulkan polusi serta bersifat gratis.

Pemanfaatan untuk potensi ini tentu dibutuhkan suatu peralatan yang sesuai kondisi tersebut. Energi surya dengan segala kelebihanannya dapat di konversikan kebentuk energi lain tanpa penggunaan instalasi yang rumit. Salah satu penggunaannya adalah sistem pemanas air (kolektor) dengan pemanfaatan energi dari radiasi surya dengan berbagai aplikasi antara lain:

- Memanaskan air untuk keperluan rumah tangga.
- Memanaskan air kolam renang
- Memanaskan awal air untuk pemanasan ruangan
- Memanaskan udara untuk pemanasan ruangan

Merekonstruksi alat penukar kalor untuk mengubah air dingin menjadi air panas yang akan digunakan untuk kebutuhan rumah tangga.

II. Tinjauan Pustaka

Energi surya berbentuk seperti bola yang terdiri dari gas-gas panas dimana lapisan luar dari surya disebut dengan *fotosfer* yang memancarkan suatu spektrum radiasi yang kontinu.

Matahari pada posisinya sedangkan bumi berputar pada sumbunya sambil bergerak mengelilingi matahari dalam suatu orbit yang berbentuk elips yakni hampir berupa lingkaran. Pada titik terjauh ditanggal 22 Juni, bumi berjarak

sekitar $1,54 \times 10^{11}$ m (95,9 juta mil) dari matahari, sementara pada titik yang terdekat ditanggal 21 Desember, bumi berjarak sekitar $1,45 \times 10^{11}$ m (89,83 juta mil) dari matahari.

Adapun spesifikasi energi surya adalah sebagai berikut:

- Garis tengah matahari (diameter) = $1,39 \times 10^9$ m
- Jarak rata-rata matahari-bumi = $1,5 \times 10^{11}$ m
- Temperatur permukaan matahari = 5762°K
- Temperatur bagian dalam matahari = $40 \times 10^6^\circ\text{K}$
- Konstanta matahari (G_{sc}) = 1353 W/m^2

Radiasi surya merupakan suatu bentuk radiasi termal yang mempunyai distribusi panjang gelombang yang khusus, karena radiasinya terkonsentrasi pada panjang gelombang pendek (berlawanan dengan yang lebih panjang untuk kebanyakan radiasi termal di bumi).

Intensitas surya sangat tergantung dari kondisi atmosfer. Menurut Wiranto Arismunandar (1995), radiasi yang tersedia di luar atmosfer bila mana bumi berada pada jarak rata-rata pada surya adalah sebesar 1353 W/m^2 yang telah diukur oleh pesawat antariksa dan diterima oleh NASA sebagai standard dengan estimasi ketelitian $\pm 15\%$ W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi.

Tidak semua energi surya yang disebut dalam konstanta surya tersebut mencapai permukaan bumi, karena terdapat *absorpsi* sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (infra merah) dari karbon dioksida dan uap air di atmosfer. Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang di pancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer

sebelum mencapai bumi sebagai radiasi sebaran. Energi surya akan maksimum mencapai permukaan bumi bila mana berkas sinar itu langsung menimpa permukaan bumi, karena terdapat bidang pandang yang begitu luas terhadap fluks surya yang datang dan berkas sinar jatuh surya menempuh jarak yang lebih pendek di atmosfer sehingga terdapat lebih sedikit *absorpsi*.

III. Perhitungan Irradiasi Surya Langit Cerah

3.1 Irradiasi Global Pada Permukaan Bidang Horizontal.

Besar *irradiasi* surya langit cerah yang diterima oleh suatu objek di bumi setiap harinya merupakan fungsi dari lokasi dan ketinggian suatu tempat di atas permukaan laut, nomor hari dari tahun, waktu dari surya, sudut ketinggian surya di atas permukaan horizontal serta sudut kemiringan objek penerima.

Sebagai contoh perhitungan diambil dari tanggal dimulainya penelitian ini yaitu pada tanggal 19 Juni 2006.

- Tanggal = 19 Juni 2006 ($n = 170$)
- Jam = 09:00 *Local solar time* (Lst)
- Lokasi kota Medan (ϕ) = $03^{\circ} 35'' (3,58^{\circ}) \approx 4^{\circ}$
 $= 35'' = \frac{35}{60} \times 100 = 58^{\circ}$
- Ketinggian kota Medan (h) = 23 meter (diambil dari Medan Polonia)

a. Sudut Deklinasi (Δ)

Diketahui untuk harga $n = 170$ dapat dimasukkan pada persamaan sehingga diperoleh:

$$\delta = 23,45 \sin \left[360 \times \frac{284 + n}{365} \right]$$

$$\delta = 23,43^{\circ}$$

b. Sudut Waktu Matahari (Ω)

Sudut waktu matahari (ω) pada jam 09:00 dapat diketahui dari persamaan (2-5):

$$\omega = [Lst - 12] \frac{360}{24} = -45^{\circ}$$

c. Sudut Zenit Surya (θ_z)

Sudut *zenit* surya (θ_z) dapat diperoleh pada persamaan (2-3), diketahui harga $\delta = 23,43^{\circ}$, $\omega = -45^{\circ}$, $\phi = 4^{\circ}$. Sehingga didapat harga sudut *zenit* surya (θ_z) adalah:

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta$$

$$\theta_z = 47,55^{\circ}$$

3.2 Irradiasi Direct Normal (IDN)

m = Tebal relatif massa udara dihitung sebagai kosekan (cosecant) ketinggian matahari/surya

$$m = \frac{1}{\sin 47,55} = 1,36$$

$$a_{ms} = 0,128 - 0,054 \log m$$

$$= 0,128 - 0,054 \log 1,36$$

$$= 0,12079$$

$$n = \text{Faktor turbiditas} = 2,0 - 5,0$$

$$= 2,0 \text{ (diambil)}$$

Jadi:

$$IDN = Ebo \exp^{-a_{ms} \cdot n \cdot m}$$

$$= 1395 \exp^{- (0,12079) (2,0) (1,36)}$$

$$= 1004,4 \text{ W/m}^2$$

3.3 Irradiasi Surya Dengan Indeks Kecerahan.

Hasil dari perhitungan *irradiasi* surya teori diberbagai tempat lokasi belum cukup untuk mengetahui intensitas surya yang sebenarnya, karena sangat mustahil apabila cuaca setiap harinya cerah (berawan, mendung, dan hujan).

Irradiasi dapat diketahui dengan alat ukur *Piranometer* yang diperoleh dari hasil pengukuran Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) untuk kota Medan dan sekitarnya (Tabel 1)

Tabel 1. Data hasil pengukuran Badan Meteorologi dan Geofisika untuk kota Medan dan sekitarnya, 2005 - 2006

Bulan	Humidity (%)	Kec.Angin (m/dt)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)		Intensitas surya (Kwh/m ² hari)
			Rata-rata maks	Rata-rata min	
Juli	83,6	3,85	33,3	23,4	4,25
Agustus	83,4	3,95	33,9	23,5	4,00
September	86,4	3,75	33,3	23,4	3,85
Oktober	86,8	3,45	31,2	23,4	2,95
November	86,4	3,65	31,4	23,6	3,14
Desember	86,4	3,45	30,6	23,4	2,93
Januari	85,4	3,10	31,3	23,0	3,47
Februari	83,5	3,5	32,2	23,5	3,34
Maret	84,2	3,90	33,0	23,9	3,21
April	83,5	3,20	32,9	24,1	3,64
Mei	84,6	3,20	32,3	24,0	3,70
Juni	83,2	3,50	33,7	23,9	4,08

Perancangan kolektor surya pemanas air ini, direncanakan letak kolektor setinggi 11 meter dari permukaan air yang akan disuplay ke kolektor, untuk itu maka dibutuhkan sebuah pompa untuk menaikkan air ke kolektor tersebut. Dalam hal ini elektro motor penggerak pompa dipasang (dikopel) langsung pada bagian pompa.

Perhitungan untuk kapasitas head dan daya pompa didasarkan pada jumlah kebutuhan air per harinya pada setiap rumah tangga dengan tergantung banyaknya jumlah anggota keluarga.

Hasil survey dan pengukuran data yang dilakukan oleh penulis bahwa pompa yang akan dirancang penulis nantinya akan melayani pemakaian air untuk lima (5) orang anggota keluarga.

3.4 Perhitungan kapasitas pemakaian air

Jumlah kebutuhan air bersih untuk keperluan mandi, cuci tangan, cuci muka, dan cuci kaki tergantung jumlah anggota keluarga yang tinggal di dalam rumah setiap harinya.

Pemakaian air untuk satu hari setiap orang 160 – 250 liter per hari (terlihat pada tabel jumlah pemakaian air pada lampiran F). Pada perencanaan ini penulis mengambil konstanta untuk pemakaian air setiap harinya adalah 240 liter per hari, sehingga kapasitas air atau debit air (Q) yang diperlukan adalah:

$$Q = 5 \times 240 \text{ liter/hari} \\ = 1200 \text{ liter/hari}$$

Waktu pemakaian air rata-rata untuk perumahan pada perencanaan ini diperkirakan 2 jam setiap harinya, untuk itu didapat:

$$Q = \frac{1200 \text{ liter / hari}}{2 \text{ jam / hari}} \\ = 600 \text{ liter/jam}$$

3.5 Perhitungan kapasitas pompa

Perhitungan kapasitas pemakaian air untuk mandi, yang dibutuhkan per harinya untuk satu keluarga dengan jumlah anggota sebanyak 5 orang adalah:

$$Q = 600 \text{ liter/jam}$$

Pendistribusian air dari sumber air serta mengalirnya ke instalasi penjernihan hingga sampai instalasi distribusi, diperkirakan terjadinya kebocoran yang mengakibatkan kapasitas berkurang, untuk mengimbangi kerugian-kerugian yang terjadi pada kapasitas air tersebut serta kerugian-kerugian yang lainnya maka kapasitas pompa perlu ditambah sebesar 20% sehingga kapasitas pompa yang dibutuhkan adalah:

$$Q_p = (1 + 0,2) \times 600 \text{ liter/jam} \\ = 720 \text{ liter/jam} \\ = 720 \text{ liter/jam} \times \frac{1}{3600} \text{ jam/det} \times \frac{1}{1000} \\ \text{m}^3/\text{liter} = 0,0002 \text{ m}^3/\text{det}$$

Penulis hanya merencanakan satu unit pompa saja, yaitu pompa dengan kapasitas air $Q = 0,0002 \text{ m}^3/\text{det}$.

IV. Perancangan Kolektor

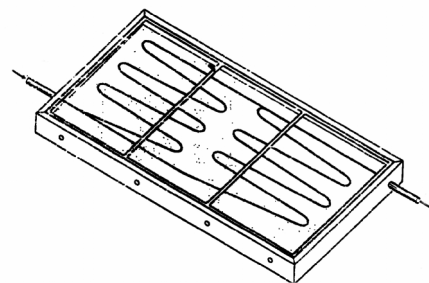
Kolektor disebut juga sebagai pengumpul panas atau kalor. Secara umum kolektor surya adalah suatu peran khusus alat penukar kalor yang berfungsi untuk menyerap surya dan mentransfer masukan radiasi tersebut menjadi energi termal yang berguna melalui suatu medium fluida kerja. Kolektor yang akan direncanakan adalah kolektor surya pemanas air.

4.1 Type kolektor pemanas air plat datar

Kolektor surya pemanas air plat datar pada umumnya dapat di klasifikasikan atas dua kategori yaitu:

- Kolektor type absorber non ferrous; Jenis type ini, aliran air melintas di atas absorber.
- Kolektor type absorber ferrous; Jenis type ini meliputi: Alur dan kasa logam, dan gelas penutup plat absorber.

Sesuai dengan aspek penerapan kisaran temperatur yang di inginkan untuk kebutuhan orang, maka jenis kolektor yang akan digunakan dalam perencanaan ini dipilih kolektor surya pemanas air plat datar dengan modifikasi gelas ganda, yang ditunjukkan pada Gambar 1.



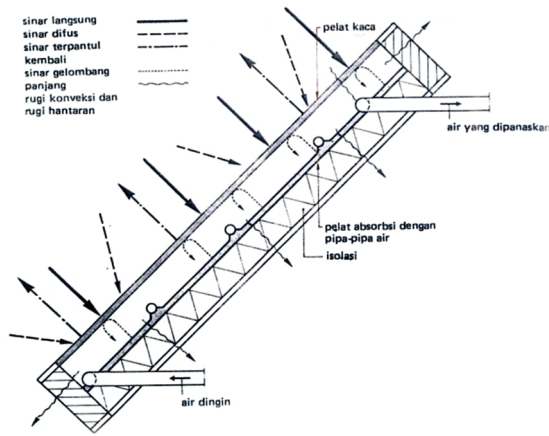
Gambar 1. Kolektor pemanas air plat datar

4.2 Proses pemanasan pada kolektor

Energi surya yang jatuh pada permukaan gelas transparan I sebagian dipantulkan, diserap dan disebarkan. Kemudian yang diteruskan menembus lapisan udara vakum dan seterusnya jatuh pada gelas transparan II dan di sana juga dipantulkan, diserap, dan diteruskan ke absorber. Kemudian panas energi surya yang diserap oleh absorber ini mengakibatkan absorber menjadi panas dan temperaturnya naik. Dengan demikian secara perpindahan panas untuk seluruh plat absorber terjadi perpindahan panas konduksi dan konveksi dimana untuk satu dimensi arah panasnya ke atas dan ke bawah.

Air bersih dari bak dialirkan ke atas dengan menggunakan pompa dimana air tersebut sebagian masuk kebak reservoir dan sebagian lagi masuk

kekolektor lewat laluan pipa kolektor dimana sepanjang alirannya, air (fluida) tersebut menerima kalor dari absorber sehingga temperatur air menjadi naik.



Gambar 2. Fenomena radiasi surya terhadap kolektor

Gambar 2 menunjukkan bahwa radiasi surya lewat melalui gelas penutup transparan dan meneruskan gelombang pendek (radiasi surya) memasuki celah udara. Ketika radiasi ini melewati gelas penutup, radiasi ini diubah dari gelombang pendek (radiasi surya) menjadi gelombang panjang (panas) seluruh gelombang panjang tidak boleh melewati gelas penutup kembali ke atmosfer sehingga panas akan terperangkap dan prinsip efek rumah kaca terjadi dan kemudian panas diserap oleh absorber. Panas dari absorber ini akan terkoneksi ke fluida/air yang berada di atasnya.

Masalah yang tidak dapat dicegah dalam pemakaian kolektor sebagai pengumpul kalor adalah kehilangan kalor dari unit kolektor, sebagian kalor yang diserap akan hilang akibat perpindahan panas radiasi, konduksi, dan konveksi alamiah yang lepas kelingkungan, selain melakukan pengetatan dengan isolasi untuk mengurangi kehilangan kalor konduksi, hal yang terpenting yang dilakukan untuk mereduksi kehilangan kalor di atas adalah penghitaman plat absorber dengan selektif dan pemakaian gelas penutup transparan di atas plat absorber dengan tujuan supaya panas terperangkap diantara celah udara. Metode untuk meningkatkan efisiensi kolektor waktu beroperasi pada kenaikan temperatur relatif terhadap lingkungannya adalah penambahan lapisan penutup transparan, dimana efek penambahan ini bertujuan untuk memperkecil efisiensi optik yang disebabkan oleh pemantulan insiden surya. Kolektor dengan menggunakan gelas penutup ganda, mempunyai keunggulan bukan hanya efek kalor saja, akan tetapi yang paling terpenting adalah daya guna yang dapat dicapai oleh kolektor tersebut. Karena itu kolektor dengan pemakaian gelas ganda ini kemungkinan akan digunakan dan di dalam perencanaan ini akan diberikan perhitungan kolektor untuk gelas tunggal dan gelas ganda dengan celah udara yang

bervariasi, dengan tujuan untuk mengetahui daya maksimum yang dihasilkan oleh kolektor.

4.3 Perancangan konstruksi kolektor gelas ganda

Konstruksi kolektor surya pemanas air yang direncanakan terdiri dari absorber, isolasi termal, gelas penutup dan rangka luar dimana plat ditempatkan bersisian dengan isolasi, untuk itu permukaan plat absorber dicat hitam dengan tujuan untuk menyerap radiasi surya (lihat Gambar 3).

Pemanas cairan surya pada umumnya terdiri dari selebar bahan konduktif termal yang disebut plat penyerap yang menyambung pipa-pipa/membawa cairan pemindah panas yang biasanya air. Radiasi surya ditransmisikan melalui penutup yang transparan dan diubah menjadi panas pada plat absorber tersebut dan bagian dasar dari sisi-sisi absorber ini di isolasi.

a. Efisiensi Sirip

Parameter rancangan yang berkaitan dengan tebal plat (δ), konduktivitas termal (k), dan sela antara pipa (s) disebut efisiensi sirip yang diberi lambang F , dimana harga F berkisar antara 0,92 dan 0,95.

Efisiensi sirip adalah suatu ukuran untuk mengetahui radiasi yang diserap dan diubah menjadi panas yang dikondusikan kebagian dasar sirip dan merupakan satu-satunya parameter yang paling penting dalam perencanaan kolektor surya ini, yang mana plat penyerap memindahkan panasnya secara konduksi ke pipa-pipa yang secara mekanis dan termal tersambung pada plat penyerap tersebut dengan temperatur maksimum di tengah-tengah dua pipa.

Efisiensi sirip dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Wiranto Arismunandar, 1995 : 43):

$$F = \frac{\tan h \left[\sqrt{\frac{UL}{k\delta}} \left(\frac{s-d}{2} \right) \right]}{\sqrt{\frac{UL}{k\delta}} \left(\frac{s-d}{2} \right)}$$

Adapun ukuran-ukuran di dalam perencanaan dimensi kolektor yang telah direncanakan sebagai berikut:

- Panjang kolektor (L) = 2000 mm
- Lebar kolektor (B) = 1000 mm
- Diameter pipa kolektor (D) = 21,3 mm
- Tebal sirip (δ) = 5,3 mm
- Tebal plat absorber (δ_a) = 0,8 mm
- Jumlah pipa = 8 buah

Pipa kolektor dalam perencanaan ini diletakkan mulai dari segi absorber paling luar, sehingga jarak antara pipa terdapat 7 buah lubang lorong.

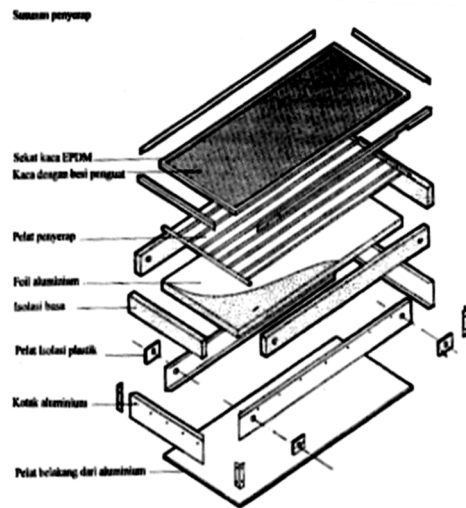
Maka:

$$s = \frac{1000 - [8(d + \delta a)]}{7}$$

$$= 117,6 \text{ mm}$$

$$= 12 \text{ cm (diambil)}$$

Adapun fungsi tiap-tiap bagian sistem kolektor adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Konstruksi kolektor gelas ganda

b. Plat Absorber

Plat absorber merupakan sarana untuk menyerap energi yang tiba pada permukaan, dari energi radiasi surya di konversikan menjadi energi termal, kemudian dikonversikan ke fluida kerja (air).

Untuk menghasilkan temperatur di bawah 90 °C bahan absorber yang bisa digunakan adalah logam seperti aluminium, *black copper*, *black nikel*, dan baja.

Untuk perencanaan ini dipilih *black copper* karena mempunyai konduktivitas termal yang baik dan tahan terhadap korosi. Dimana untuk harga:

- Absorbility* (α) = 0,80 – 0,95
- Emisivity* (ϵ) = 0,15 – 0,25
- Konduktivitas termal = 386 W/m °K

c. Isolasi

Isolasi berfungsi untuk mengurangi kehilangan kalor sekeliling secara konduksi. Jenis isolasi yang digunakan pada perencanaan ini adalah woll gelas karena mempunyai konduktivitas termal yang rendah yaitu 0,033 W/m °K.

d. Gelas Penutup

Gelas penutup berfungsi sebagai pelindung bagian dalam dari pengaruh air hujan, debu, dan angin serta untuk menimbulkan efek rumah kaca dan membatasi kehilangan kalor akibat konveksi

kesekeliling. Gelas penutup pada perencanaan ini dipilih jenis gelas kaca dengan data-data:

- Absorbility* (α) = < 1,0 %
- Reflektiviti* (ρ) = 8,0 %
- Transmisiti* (τ) = 91,2 – 91,6 %
- Konduktiviti* (k_g) = 0,75 W/m °K
- Tebal gelas (δ) = 4 mm

Ukuran-ukuran kolektor yang direncanakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perencanaan dimensi kolektor

Bagian	Simbol	Bahan	Ukuran (mm)
Panjang kolektor	L	-	2000
Lebar kolektor	B	-	1000
Tebal kolektor	C	-	120
Tebal plat absorber	δa	Black opper	0,8
Tebal gelas penutup	δg	Gelas kaca	4
Tebal isolasi	δi	Woll gelas	64
Tebal sirip	δ	Tembaga	5,3
Jarak celah udara	a	-	Divariasikan 20
Diameter pipa kolektor	D	Baja karbon	21,3

V. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Kota Medan sebagai suatu daerah yang terletak di zona khatulistiwa yang menerima *irradiasi* surya hampir merata sepanjang tahun yaitu sebesar 3 – 3,5 Kwh/m² hari. Potensi ini tentu sangat menguntungkan untuk dipergunakan sebagai sumber alternatif yang sangat berguna pemanfaatannya dimana energi surya ini juga bersifat non polusi dan tidak akan pernah habis.
- Irradiasi* surya langit cerah dalam suatu hari sangat bervariasi untuk setiap jamnya, harga *irradiasi* surya maksimum ada pada jam 12 waktu setempat.
- Harga *Irradiasi* surya maksimum secara teoritis sangat menentukan posisi kolektor pada suatu lokasi, ketinggian lokasi di atas permukaan laut (DPL), sudut kemiringan kolektor dan arah kolektor.
- Dalam perencanaan kolektor pemanas air ini diperoleh data-data dimensi sebagai berikut:
 - Panjang kolektor (L) = 2000 mm
 - Lebar kolektor (B) = 1000 mm
 - Tebal kolektor (C) = 120 mm
 - Tebal gelas penutup (δg) = 4 mm
 - Jarak celah udara (a) = 20 mm
 - Tebal plat absorber (δa) = 0,8 mm
 - Tebal isolasi (δi) = 64 mm

- h. Kemiringan kolektor (β) = 15°
 - i. Jenis kolektor = Non Ferrous
 - j. Type kolektor = Plat datar
 - k. Jumlah pipa dalam kolektor = 8 buah pipa $\frac{1}{2}$ Inc
 - l. Kapasitas pemakaian air untuk 5 orang = 1200 L/hari
 - n. Kapasitas pompa (Q_p) = $0,0002 \text{ m}^3/\text{det}$
 - m. Diameter pipa untuk pompa (D) = $\frac{1}{2}$ inc
 - o. Head total pompa = 15,45 m
 - p. Daya pompa (N_p) = 0,06 Hp
 - q. Daya elektro motor (N_m) = 0,08 Hp
5. Data–data teknik yang diperoleh:
- a. Konduktivitas termal gelas (woll gelas) = $0,033 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$
 - b. Konduktivitas termal kaca = $0,75 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$
 - c. Temperatur (T_a) = $33,7^\circ\text{C}$
 - d. Fluks kalor radiasi surya rata-rata harian (I_T) = $582,85 \text{ W/m}^2$

- Dari data–data di atas maka diperoleh:
- a. Temperatur fluida masuk (T_{fi}) = 25°C
 - b. Temperatur fluida keluar (T_{fo}) = 63°C
 - c. Energi berguna bagi kolektor (Q_u) = 1040 Kkal/jam
 - d. Efisiensi kolektor (η_c) = $89,2\%$

Daftar Pustaka

- [1] Frank Kreith, Arko Prijono, 1991, *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*, Edisi ke tiga, Erlangga, Jakarta.
- [2] Holman, J. P., 1984, *Perpindahan Kalor*, Terjemahan oleh Jasjfi, Erlangga, Jakarta.
- [3] Muin, Syamsir A., 1993, *Pesawat-Pesawat Konversi Energi*, Penerbit PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- [4] Pudjanarsa, Astu dan Nursuhud Djati, 2006, *Mesin Konversi Energi*, Penerbit Andi, Yogyakarta.